



ESCUELA UNIVERSITARIA DE FISIOTERAPIA
GIMBERNAT-CANTABRIA

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL BAREFOOT RUNNING. REVISIÓN SISTEMÁTICA

Trabajo de Fin de Grado

Iñigo Aperribay Urrutia

Grado en Fisioterapia

EU Gimbernat-Cantabria

Director: José María González Ruiz

Torrelavega, a 24 de Febrero de 2014

ÍNDICE

RESUMEN.....	2
ABSTRACT.....	3
INTRODUCCIÓN.....	4
OBJETIVO.....	7
MÉTODOS.....	7
RESULTADOS.....	8
DISCUSIÓN.....	25
LIMITACIONES.....	26
CONCLUSIONES.....	27
AGRADECIMIENTOS.....	28
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL BAREFOOT RUNNING. REVISIÓN SISTEMÁTICA

RESUMEN

INTRODUCCIÓN: Correr “barefoot” es correr “descalzo”, dejando que el pie efectúe su movimiento natural que ayudará a las piernas a atenuar el impacto. Correr “calzado”, altera la propiocepción, modifica la postura y no permite trabajar a los músculos y articulaciones, reduce el impacto del pie; pero, aumenta las fuerzas en rodilla y cadera. Corriendo descalzo hay mejor propiocepción, menos estrés y menos consumo de energía, lo cual implica menor riesgo de lesión. Correr descalzo es un estilo de correr biomecánicamente más efectivo y además metabólicamente más económico que correr calzado.

OBJETIVO: El objetivo de esta revisión es conocer la evidencia científica de las ventajas que ofrece correr descalzo.

MÉTODOS: Se realizó una revisión sistemática de estudios sobre correr descalzo en las bases de datos: MEDLINE/PubMED, PEDro, Cochrane Library y en Revistas Médicas. Para iniciar la búsqueda se introdujeron las siguientes palabras clave: barefoot running, biomechanics, shod running, injury, advantages, shod runners y footstrike pattern y se utilizó el operador booleano AND. Se definieron también los criterios de inclusión y exclusión y fueron incluidos todos los trabajos en español y en inglés.

RESULTADOS: La búsqueda identificó inicialmente 173 artículos que reunían los criterios iniciales de selección, es decir, contener las palabras clave. Tras aplicarles los criterios de inclusión y exclusión, la búsqueda quedó reducida a 20 artículos.

CONCLUSIONES: Existen suficientes estudios que muestran evidencia científica sobre las ventajas biomecánicas que ofrece el correr descalzo. Sin embargo, el rigor metodológico de la mayoría de ellos no es muy alto porque no

son aleatorios. Por ello, en un futuro, se necesitarían ensayos clínicos aleatorios de mayor solidez metodológica que pudieran confirmar los presentes resultados.

Palabras clave: barefoot running, biomechanic, injuries, advantages, shod runners, footstrike pattern.

ABSTRACT

INTRODUCTION: Running barefoot is letting your foot carry out its natural movement, which will help your legs reduce the impact. Shod running alters proprioception, modifies posture and does not allow muscles and joints to work, reducing the foot impact; but, it increases strength in knee and hip. Running barefoot improves proprioception, there is less stress and lesser energy consumption, which implies a smaller risk of injury. Running barefoot is a biomechanically more effective running style and, besides, it is metabolically more economical than running shod.

OBJECTIVE: The objective of this review is getting to know the scientific evidence of the advantages of running barefoot.

METHODS: A systematic review on studies about running barefoot was done at the following data bases: MEDLINE/PubMed, PEDro, Cochrane Library and medicals journals. In order to start the search, the following key words were entered: barefoot running, biomechanics, shod running, injury, advantages, shod runners, footstrike pattern. The boolean operator AND was used as well. The criteria of inclusion and exclusion were also defined, and all the research works in Spanish and English were included too.

RESULTS: The search identified initially 173 articles which joined together the initial selection criteria, that is, those containing the key words. After applying those criteria of inclusion and exclusion, the search was reduced to 20 articles.

CONCLUSIONS: there are enough studies which give evidence of the biomechanical advantages offered by running barefoot. However, the methodological accuracy of most of them is not too high, since they aren't randomized. Therefore, in the future, random clinical essays of a bigger methodological soundness, which could confirm the current results, will be necessary.

Key Words: barefoot running, injuries, advantages, shod runners, footstrike pattern.

INTRODUCCIÓN

La actividad deportiva en general, y, el correr en particular, ha aumentado mucho en los últimos tiempos, dado que se ha convertido en uno de las formas más comunes de ocupar el tiempo libre buscando además conseguir un modo de vida más saludable. Una nueva técnica de carrera, “barefoot running” o “correr descalzo” va consiguiendo cada vez más seguidores. Según Daniel Lieberman¹, doctor en medicina, profesor de Biología Evolutiva Humana en la Universidad de Harvard e investigador de alto nivel en el campo del correr descalzo, "si piensas que correr descalzo es una moda pasajera, entonces es una moda pasajera de ya dos millones de años" . En el mismo sentido Hatala et al.² afirman que correr largas distancias tiene una larga historia en la evolución humana mientras que los seres humanos corren calzados desde hace poco tiempo. Correr largas distancias descalzo no es una moda, el hombre lo ha hecho desde siempre, la evolución le dotó de mecanismos anatómicos y biológicos (tendón de Aquiles, sistemas termorreguladores...) para ello. En un artículo publicado en 2004 por Bamble y Lieberman²¹ van más allá cuando afirman que fue precisamente esa posibilidad de correr largas distancias lo que nos hizo humanos. A diferencia de otros homínidos, el hombre pudiendo correr largas distancias fue capaz de conseguir más comida que aportara al cerebro la cantidad de energía necesaria que le posibilitara aumentar de volumen y desarrollarse, pasando de pesar unos 500g en los primeros hombres hasta los 1500g que pesa aproximadamente un cerebro humano en la actualidad. El hombre puede correr descalzo largas distancias y lo puede hacer de manera efectiva, algo que se pudo constatar cuando, por ejemplo, en 1960, Abebe Bikila ganó el maratón en los Juegos Olímpicos de Roma batiendo el récord mundial corriendo descalzo y, en 1985, Zola Budd, batió el récord mundial de 5000 metros, corriendo también descalza.

La premisa de la que parte esta técnica es que el hombre está biológicamente dotado de los mecanismos y estructuras anatómicas necesarias

para correr, y, especialmente, para correr largas distancias. En este sentido el doctor Daniel Lieberman¹, a través de un estudio realizado en corredores descalzos y calzados, demostró que correr descalzo es no sólo más natural que correr calzado, sino también más efectivo biomecánicamente y más económico metabólicamente. Corriendo descalzo, la posición del cuerpo está más adelantada que corriendo calzado, lo que se traduce en que el pie entra en el impacto contra el suelo con el antepié, de una manera más relajada y más gradual, porque, al no tener la protección artificial de una suela absorbente, es el propio cuerpo el que tiene que ocuparse de recibir ese impacto, de hacer la transición de la pisada hacia el retropié y lanzar el impulso, todo el tren inferior entra en funcionamiento, de forma que el ejercicio es más completo, y sobre todo, el esfuerzo está más distribuido. Lieberman et al.¹ y Squadrone y Gallozzi³ concluyen en sus estudios que corriendo descalzo se aprovecha la cinemática de la cadera así como la flexibilidad de la bóveda y la fascia plantar para el impulso, se reduce la longitud de la zancada; pero, se aumenta la cadencia de pisada. A la vez, al estar más bajo el centro de gravedad, hay una reducción del consumo de energía.

En opinión de Lieberman¹, las zapatillas modernas de running no hacen sino impedir los movimientos naturales del pie que son elementos básicos en la biomecánica de la carrera, es decir, alteran la amortiguación, el soporte y pretenden el control de la pronación y la supinación. Kerrigan et al.⁴ manifiestan en el mismo sentido que las zapatillas modernas que controlan la pronación aumentan las fuerzas y el estrés en las rodillas.

Esta forma de correr descalzo es la original de la especie, el cuerpo humano no se diseñó, biomecánicamente hablando, para correr con amortiguación. Cuando el corredor descalzo impacta con la superficie del suelo, el pie tiende a apoyar más la zona del empeine cercana a la base de los dedos. Esto provoca que el pie esté parado un instante justo después de haber tomado contacto con el suelo, permitiendo el movimiento natural del pie y de la pierna. Las zapatillas, por el contrario, nos obligan a entrar con el talón y, aunque tengan amortiguación, sufrimos constantes impactos, sobre todo, en las rodillas. Los corredores con zapatillas descargan en cada pisada mucha más energía de golpe, mientras que los corredores descalzos controlan más

gradualmente el impacto. Lieberman¹ considera paradójico que los seres humanos después de correr descalzos durante millones de años presenten un índice mayor de lesiones a partir de la década de los 70 cuando salieron al mercado las zapatillas con suelas acolchadas absorbentes de impacto.

El calzado altera el ángulo natural del pie, cuando estamos descalzos ese ángulo es 0°, este ángulo se modifica al estar calzados, lo que, a la larga, originará problemas de rodilla y cadera. La pronación es la rotación del pie hacia el interior cuando se camina o corre descalzo, es parte del movimiento natural que ayuda a las extremidades inferiores a atenuar el impacto.

Según Lieberman¹ el calzado altera la pisada natural. Esta se reparte entre el medio y el retropié haciendo que el impacto sobre el calcáneo sea de manera oblicua, lo cual, además de amortiguar el peso, hace que este se desplace hacia el antepié, mejorando el impulso. Correr con calzado de suelas acolchadas de absorción de impacto, por el contrario, provoca una pisada con el talón al impactar en el suelo, lo cual origina una reducción de la fuerza del impacto que debilita los músculos del pie y genera una falta de información propioceptiva y, por lo tanto, una mayor propensión a las lesiones.

Morley et al.⁵, Hanson et al.⁶ y Squadrone y Gallozzi³ afirman en sus estudios que correr descalzo mejora la propiocepción, nuestro sistema sensorial es capaz de adaptarse al terreno poniendo en funcionamiento un amortiguador natural de nuestras piernas formado por tobillo-rodilla-cadera.

El momento de mayor índice de lesiones en un corredor es el del impacto contra el suelo, por ello, el hacerlo con un patrón de pisada u otro tendrá mucha relación con el índice de lesiones. Daoud et al.⁷ en este punto afirman que tener un patrón de pisada de antepié reduce a la mitad el número de lesiones comparándolo con un patrón de pisada de retropié. Para reducir las lesiones en los corredores habrá que permitir el movimiento natural del pie corriendo descalzos o en un calzado minimalista que conserve lo más posible la biomecánica del pie. Correr descalzo fortalece el arco plantar y reduce el impacto en las articulaciones, sobre todo en las rodillas y caderas.

Lieberman et al.¹ y Squadrone y Gallozzi³ coinciden en afirmar que corriendo descalzo se reduce el gasto de energía porque, corriendo ligeramente inclinado hacia delante, la pisada se genera más cerca del centro de gravedad que cuando corremos calzados, incluso, aunque corramos con zapatillas minimalistas.

OBJETIVO

El objeto de esta revisión es conocer la evidencia científica que ponga de manifiesto las ventajas de correr descalzo con respecto a correr calzado con zapatillas deportivas tradicionales o con suela de impacto absorbente. Correr descalzo respeta la biomecánica natural del pie, que está preparado para correr. Correr descalzo no es sólo natural sino más efectivo biomecánicamente y más económico a nivel metabólico, porque implica un menor gasto de energía.

MÉTODOS

Se realizó una revisión sistemática en las bases de datos MEDLINE/PubMed, PEDro y Cochrane Library y en las siguientes revistas médicas: BJM, Journal of Foot and Ankle, J. Med. Sci Sports, Proc Biol Sci, Int J Sports Med, Sport Science Review, J Sports Med Phys Fitness, Med Sci Sports Exerc, The International Journal of Sports Physical Therapy, Plos ONE, Br J Sports, Journal of Applied Biomechanics, Journal of Athletic Training, Gait Posture, Orthopedics, Phys Med. Rehabi.

Para iniciar la búsqueda se introdujeron las siguientes palabras clave: barefoot running, running barefoot, shod running, injury, advantages, footstrike patterns y se encontraron 173 artículos, de los cuales 13, se localizaron en listas de referencia de artículos encontrados.

En una primera selección se estudiaron el título y el resumen y se excluyeron aquellos que no trataban el correr descalzo como tema principal. Los artículos obtenidos fueron 70.

Se procedió a una segunda selección utilizando los siguientes criterios de exclusión e inclusión.

- ✓ Criterios de inclusión: Ensayos clínicos aleatorios y estudios clínicos controlados no aleatorios. Niveles I y II de evidencia y niveles A y B de fuerza de recomendación según escala Scottish Intercollegiate Guidelines Network: SIGN 50 (tabla 2). Se incluyeron estudios con buena calidad metodológica y validez interna, con poco margen de error, puntuación igual o mayor a seis según escala de valoración PEDro (tabla 2). Acceso al texto completo. Artículos publicados en los últimos cinco años, entre 01.01.2009 y 31.06.2013. Idiomas incluidos: inglés y español.
- ✓ Criterios de exclusión: Revisiones sistemáticas. Estudios de baja evidencia científica, niveles III, IV y V y de baja calidad metodológica. Sólo resumen accesible. Fechas de publicación anteriores a enero de 2009. Idiomas que no fueran español e inglés.

De esta manera quedaron 20 estudios incluidos en la revisión sistemática.

RESULTADOS

La estrategia de búsqueda está representada en el diagrama de flujo de la figura 1. La búsqueda identificó inicialmente 173 artículos que contenían las palabras clave: barefoot running, running barefoot, shod running, injury, advantages y footstrike patterns. Tras una segunda selección basada en la lectura y análisis del título y del resumen, se excluyeron de la búsqueda aquellos artículos que no tenían el barefoot running como temática principal y, por lo tanto, no aportaban datos relevantes a la revisión.

La búsqueda quedó reducida a 70 estudios. Tras aplicarles los criterios de inclusión y exclusión, quedaron excluidos 50 e incluidos 20. Finalmente la búsqueda limitó el número de estudios sobre los que realizar la revisión a 20. El análisis de estos estudios aparece reflejado en la Tabla 1. y su nivel de evidencia científica y nivel de recomendación, escala SING 50, y solidez metodológica, escala PEDro, en la Tabla 2.

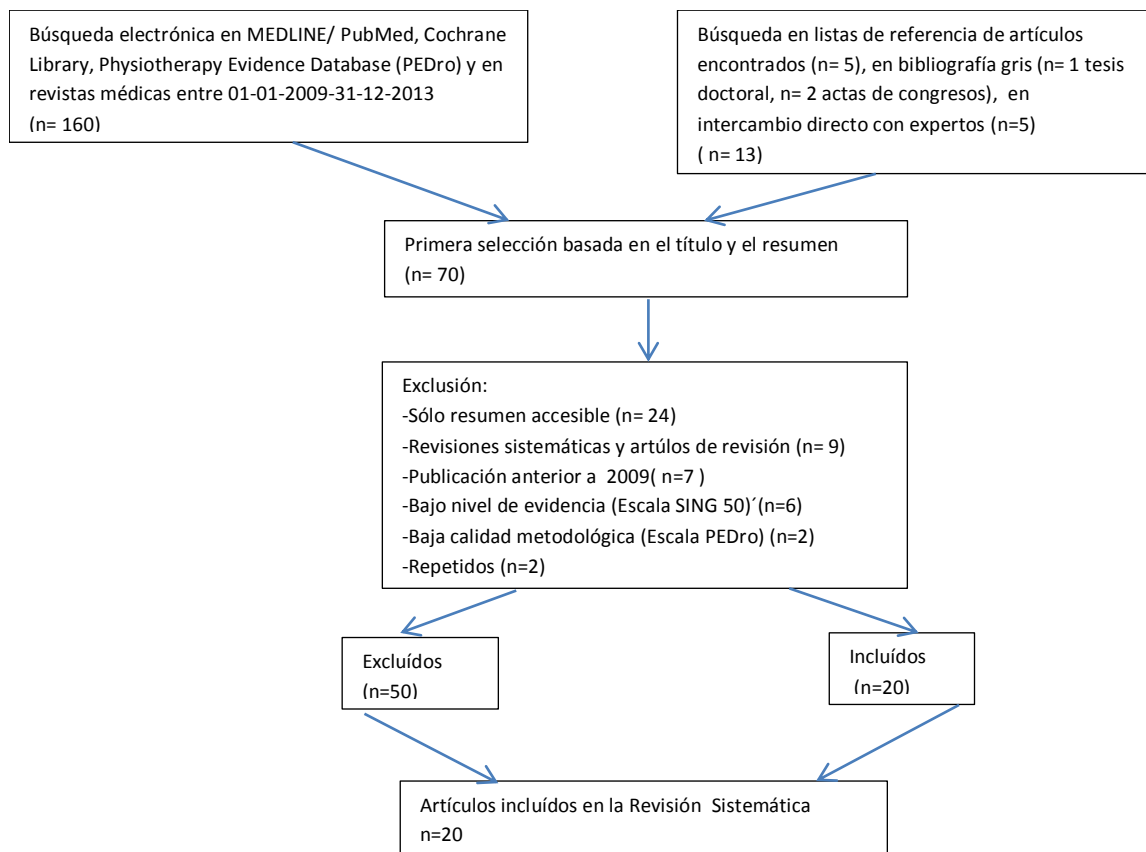


Fig. 1. Diagrama de flujo del proceso de selección de artículos incluidos en la revisión

ARTÍCULO	AUTORES/AÑO	ESTUDIOS	PARTICIPANTES	PUBLICACIÓN
Foot Strike Patterns and Collision Forces in Habitually Barefoot versus Shod Runners	Lieberman DE, Venkadesan M, Werbel WA et al. 2010 ¹	Estudio controlado de cohortes, transversal de base poblacional	5 grupos: -8 corredores calzados Uni .Harvad -14, calzados. Kenia -8, descalzos USA -16, descalzos rurales. Kenia -16, calzados urbanos. Kenia	NATURE doi:10.1038/Nature08723
Variation in Foot Strike Patterns During Among Habitually Barefoot Populations	Hatala KH, Dingwall HL, Wunderlich RE, Richmond BG. 2013 ²	Estudio clínico controlado	38 miembros de la tribu Daasanach de Kenia, población descalza habitual. -19 hombres -19 mujeres	PLOS ONE doi: 10.1371/journal.pone.0052548

Biomechanical and Physiological Comparison of Barefoot and two Shod Conditions in Experienced Barefoot Runners	Squadrone R, Gallozzi C. 2009 ³	Estudio controlado de cohortes	8 corredores -corredores experimentados barefoot -3 de ellos corredores de maratón descalzos	J. Sports Med. Phys. Fitness www.therunningclinic.ca/medias/maillinglist/2009-squadrone-barefoot-vs-fiv.pdf
The Effect of Running Shoes on Lower Extremity Joint Torques	Kerrigan C, Franz JR, Keenan GS et al. 2009 ⁴	Estudio controlado de cohortes	68 corredores jóvenes y sanos, corredores calzados habituales. -31 hombres -37 mujeres	PM&R doi:10.1016/j.pmri.2009.09.011
Effects of Varying Amounts of Pronation on the Mediolateral Ground Reaction Forces during Barefoot Versus Shod Running	Morley JB, Decker LM, Dierks T et al. 2010 ⁵	Estudio controlado de cohortes	30 corredores sanos no profesionales	Journal of Applied Biomechanics unomaha.edu/crc/publications.php
Oxygen Cost of Running Barefoot vs. Running Shod	Hanson NJ, Berg K, Meederling JR, Ryan C. 2010 ⁶	Estudio controlado de cohortes.	10 corredores no profesionales y voluntarios -5 hombres -5 mujeres	Int J Sports Med doi:10.1055/s-0030-1265203
Foot Strike and Injury Rates in Endurance Runners	Daoud AI, Geissler FW, Saretsky et al. 2012 ⁷	Estudio controlado de cohortes retrospectivo	52 corredores profesionales de larga distancia. -29 hombres -23 mujeres	Med Sci Sports Exerc. doi:10.1249/MSS.0b013e3182465115
Take your Shoes off Reduce Patellofemoral Joint Stress During Running	Bonacci J, Vicenzino B, Spratford W, Collins P. 2013 ⁸	Estudio controlado de casos y controles	22 corredores muy entrenados -14 hombres -8 mujeres	Br J Sports Med doi:10.1136/bjsports-2013-092160
Barefoot-Simulating Footwear Associated with Metatarsal Stress Injury in 2 Runner	Giuliani J, Masini B, Alitz C et al. 2011 ⁹	Estudio clínico controlado	2 corredores -1 corredor de larga distancia de 19 años -1 corredor de 35 años de maratón	Haelio Orthopedics Journals doi:10.3928/01477447-20110526-25
A Kinematic Method for Footstrike Pattern Detection in Barefoot and Shod Runners	Altman AR and Davis IS 2011 ¹⁰	Ensayo clínico controlado	20 corredores sanos: -10 hombres -10 mujeres	Gait Posture Doi:10.1016/j.gaitpost.2011.09.104
A comparison of gait biomechanics of flips-flops, sandals, barefoot and shoes.	Zhang X, Paquette MR, Zhang S. 2013 ¹¹	Estudio controlado de cohortes	10 varones sanos de la Universidad de Tennessee	Journal of Foot and Ankle Research doi:10.1186/1757-1146-6-45

Running in minimalist and lightweight shoe is not the same as running barefoot: a biomechanical study	Bonacci J, Saunders PU, Hicks A et al. 2013 ¹²	Ensayo clínico controlado	22 corredores bien entrenados -14 hombres -8 mujeres	Br.J.Sports Med doi: 10.1136/bjsports-2012-091837
Examining injury risk and pain perception in runners using minimalist footwear	Ryan M, Elashi M, Newsmam-West R, Taunton J. 2013 ¹³	Ensayo Controlado Aleatorio	103 corredores con pronación neutra o leve asignados al azar: - zapatilla neutra: Nike Pegasus 28 -minimalista parcial : Nike Free 3.0 V2 -un zapato minimalista completo ,Vibram 5 dedos Bikila	BJSM doi:10.1136/bjsports-2012-092061
Changes in Lower Extremity Movement and Power Absorption During Forefoot	Williams B, Green DH, Wurzinger B. 2012 ¹⁴	Estudio controlado de cohortes	20 corredores: -10 hombres -10 mujeres corredores RFS -3 condiciones: BF, calzados con RFS, calzadas con FFS	The International Journal of Sports Physical Therapy PMCID: PMC3474309
Effects of Footwear and Strike Type on Running Economy	Perl DP, Daoud AI, Lieberman DE. 2012 ¹⁵	Estudio controlado de cohortes	15 corredores experimentados o descalzos o minimalistas. -13 hombres -2 mujeres	American College of Sports Medicine Medicine&Science in Sports&Exercise doi:10.1249/MSS.0b013e318247989e
Forefoot Strikes Exhibit Lower Running-Induced Knee Loading than Rearfoot Strikers	Kulmala JP, Avela J, Pasanen, K and Parkkari J. 2013 ¹⁶	Estudio clínico controlado	227 mujeres y 66 hombres, corredores minimalistas o descalzos	Medicine&Science in Sport&Exercise doi: 10.1249/MSS.0b013e31829efct7
Comparative Analysis of Barefoot and Shod Running	Utz-Meaguer C, Nulty J, Holt L. 2011 ¹⁷	Estudio controlado de casos y controles	15 corredores de fondo -14 hombres -1 mujer	Sport Science Review doi/10.2478/v10237-011-0057-0
Metabolic Cost of Running Barefoot versus Shod: is lighter better?	Franz JR, Wierzbinski CM, Kram R. 2012 ¹⁸	Estudio controlado de cohortes	12 corredores descalzos con patrón de mediopié	Medicine&Science Sport&Ciencias doi:10.1249/MSS.0b013e3182514a88

Economy and Rate of Carbohydrate Oxidation During Running with Rearfoot and Barefoot Strike Patterns.	Gruber AH, Umberger BR, Braun B, Hamill J. 2013 ¹⁹	Estudio controlado de cohortes	37 corredores experimentados -19 corredores de talón habituales -18 corredores de patrón de antepié habituales.	J. App. Physiol doi:10.1152/japplphysiol.01437.2012
Evaluation of the Minimum Energy Hypothesis and Other Potential Optimality Criteria for Human Running	Miller RH, Umberger BR, Hamill J, Caldwell GE. 2011 ²⁰	Estudio clínico controlado	12 mujeres corredoras adultas	Pro. R. Soc. B. doi:10.1098/rspb.2011.2015

Tabla 1. Artículos incluidos en la revisión sistemática.

ARTÍCULO	AUTORES/AÑO	NIVEL EVIDENCIA ESCALA SIGN 50	FUERZA DE RECOMENDACIÓN ESCALA SIGN 50	VALORACIÓN METODOLÓGICA ESCALA PEDro
Foot Strike Patterns and Collision Forces in Habitually Barefoot versus Shod Runners	Lieberman DE, Venkadesan M, Werbel WA et al. 2010 ¹	2++	B	7
Variation in Foot Strike Patterns During Among Habitually Barefoot Populations	Hatala KH, Dingwall HL, Wunderlich RE, Richmond BG. 2013 ²	2++	B	7
Biomechanical and physiological comparison of barefoot and two shod conditions in experienced barefoot runners	Squadrone R, Gallozzi C. 2009 ³	2++	B	7
The Effect of Running Shoes on Lower Extremity Joint Torques	Kerrigan C, Franz JR, Keenan GS et al. 2009 ⁴	2++	B	7
Effects of Varying Amounts of Pronation on the Mediolateral Ground reaction Forces during Barefoot Versus Shod Running	Morley JB, Decker LM, Dierks T et al. 2010 ⁵	1-	B	8
Oxygen Cost of Running Barefoot vs. Running Shod	Hanson NJ, Berg K, Meederling JR and Ryan C. 2010 ⁶	2++	B	7

Foot Strike and Injury Rates in Endurance Runners	Daoud Al, Geissler FW, Saretsky et al. 2012 ⁷	2++	B	7
Take your Shoes off Reduce Patellofemoral Joint Stress During Running	Bonacci J, Vicencino B, Spratford W, Collins P. 2013 ⁸	2++	B	7
Barefoot-Simulating Footwear Associated with Metatarsal Stress Injury in 2 Runner	Giuliani J, Masini B, Alitz C et al. 2011 ⁹	2++	B	7
A kinematic Method for Foodstrike Pattern Detection in Barefoot and Shod Runners	Altman AR and Davis IS 2011 ¹⁰	2++	B	7
A comparison of gait biomechanics of flips-flops, sandals, barefoot and shoes.	Zhang X, Paquette MR, Zhang S. 2013 ¹¹	2++	B	7
Running in minimalist and lightweight shoe is not the same as running barefoot: a biomechanical study	Bonacci, J. Saunders PU, Hiks A et al. 2013 ¹²	2++	B	7
Examining injury risk and pain perception in runners using minimalist footwear	Ryan M, Elashi M, Newsmam-West R, Taunton J. 2013 ¹³	1+	B	9
Changes in Lower Extremity Movement and Power Absorption During Forefoot	Williams B, Green DH, Wurzinger B. 2012 ¹⁴	2++	B	8
Effects of Footwear and Strike Type on Running Economy	Perl D, Daoud Al, Lieberman DE. 2012 ¹⁵	2++	B	7
Forefoot Strikes Exhibit Lower Running-Induced Knee Loading than Rearfoot Strikers	Kulmala JP, Avela J, Pasanen, K, Parkkari J. 2013 ¹⁶	2++	B	7
Comparative Analysis of Barefoot and Shod Running	Colin Utz-Meaguer, Nulty J, Holt L. 2011 ¹⁷	2++	B	7
Metabolic Cost of Running Barefoot versus Shod	Franz JR, Wierzbinski CM and Kram R. 2012 ¹⁸	2++	B	7

Economy and Rate of Carbohydrate Oxidation with Rearfoot and Barefoot Strike Patterns.	Gruber AH, Umberger BR, Braun B, Hamill J. 2013 ¹⁹	2++	B	7
Evaluation of the Minimum Energy Hypothesis and Other Potential Optimality Criteria for Human Running	Miller RH, Umberger BR, Hamill J and Caldwell GE. 2011 ²⁰	2++	B	7

Tabla 2. Análisis de los niveles de evidencia según escala, SING 50, del nivel de recomendación según la escala SING 50 y de la valoración metodológica interna según la escala PEDro, de los artículos incluidos en la revisión sistemática.

Lieberman DE, Venkadesan M, Werbel WA et al.¹ analizaron tres tipos o patrones de pisada diferentes en el impacto del pie del corredor contra el suelo. Se observó que corredores calzados tenían un tipo de pisada posterior o de talón en el impacto, mientras que los descalzos mostraban un impacto de pisada con el medio y/o antepié. Los corredores con patrón de pisada anterior tenían un impacto menor que los que tenían un patrón de mediopie y mostraron la mitad de impacto que los que tenían patrón de pisada posterior o retropié. El motivo es que al entrar en el impacto con el antepié se aprovecha la cinemática de la cadera y la flexibilidad de la bóveda y la fascia plantar para el impulso.

Correr calzado con zapatillas con suelas de absorción más que beneficiar al corredor lo que provoca es una disminución de la fuerza de los músculos del pie y hace que otras estructuras tengan que trabajar para compensarlo. La pisada natural de un corredor descalzo está repartida entre el medio y el retropié para evitar un impacto vertical sobre el calcáneo y hacer que el impacto sea oblicuo, de esa manera se amortigua el peso que se desplaza hacia el antepié mejorando a su vez el impulso. El calzado altera la pisada natural, una suela absorbente provoca un contacto inicial sólo con el retropié, lo que provoca una mala propiocepción del pie y hay una mayor tendencia a las lesiones.

Además se demostró que el patrón de pisada de antepié en corredores descalzos o en calzado minimalista facilita el "mecanismo de masa-resorte" del

tendón de Aquiles y el arco del pie, reduciendo el consumo de energía y aumentando la eficacia biomecánica. El correr descalzo nos desplaza ligeramente hacia delante el centro de gravedad, así el pie entra en una postura más relajada y absorbe el impacto de manera más gradual e instintiva, porque, la zona delantera del pie tiene más sensibilidad y control. Correr descalzo o con zapatillas minimalistas es biomecánicamente más efectivo, metabólicamente más económico y reduce las cargas en las rodillas, si lo comparamos con correr con zapatillas deportivas tradicionales. El objetivo principal de este estudio era demostrar que corriendo descalzo las presiones sobre la rodilla disminuían y con ello se reducían lesiones y patologías derivadas del sobreuso como, por ejemplo, la osteoartritis. Científicamente, la investigación se centró en el momento de aducción de la rodilla externa y en la fuerza producida en el impulso angular, ya que ambos parámetros reflejan el grado de carga media de la rodilla durante la carrera. Los resultados demostraron una reducción del 19% en la fuerza media de la rodilla, así como una reducción del 36% en el dolor percibido en los corredores descalzos con patrón de antepié.

Los corredores descalzos que aterrizan con la parte delantera del pie generan menores fuerzas de impacto, entre 0.58 y 0.21 del peso corporal aproximadamente, en comparación con corredores calzados que aterrizan con el talón, que es el patrón habitual del 75-80% de los corredores, y que generan una fuerza de impacto entre 1.89 y 0.72 aproximadamente del peso corporal. Esto significa que un corredor de 60 kilos que corre en estilo descalzo tendrá un impacto al aterrizar de solo 34.8 kg, en comparación el impacto que tendría al aterrizar con el talón sería de 113.4 kg, una diferencia de 78.6 kg en cada zancada. Considerando que se realizan alrededor de 600 zancadas por kilómetro, la carga a la que se enfrentan las articulaciones es muy elevada.

Hatala KG, Dingwal HI, Wurzinger RE et al.² el estudio se realizó con un grupo de corredores que procedía de la tribu Daasanach del norte de Kenia y se vio que el modo de pisada de dichos corredores se modificaba en función de la distancia y de la velocidad de la carrera, en carreras de velocidad el patrón de entrada del pie era de medio o antepié para recibir la fuerza del impacto, pero, en carreras de larga distancia, no todos los corredores usaban ese

patrón, algunos entraban con el retropié. Los resultados sugieren que factores como la velocidad, el nivel de entrenamiento, las propiedades mecánicas del suelo y la distancia influían en la selección de los patrones de impacto del pie. En el estudio, se corrió a dos velocidades: velocidad de “resistencia” y de “sprint”. Los resultados confirmaron que a ritmo de “resistencia”, el 72% de los individuos impactaban con el retropié, y el 28% restante lo hacía con el antepié o el mediopié. Cuando se aumentaron los ritmos, el porcentaje de impacto con el retropié disminuyó hasta el 40%, mientras que el otro 60% fue de antepié y mediopié.

Squadrone R y Gallozzi C.³ en su estudio afirman que el posicionamiento más plano del pie en contacto con el suelo en el correr descalzo se debe a un mayor grado de flexión plantar en el tobillo. Esto provoca una posición más vertical de la pierna y por tanto una mayor flexión de rodilla que suaviza el impacto con el suelo. Se encontró también que en el correr descalzo la zancada era más corta pero más frecuente.

El modelo fivefingers de calzado minimalista parece ser eficaz en la imitación biomecánica de las condiciones de correr descalzos a la vez que proporciona al pie una pequeña cantidad de protección. La flexión plantar del tobillo era significativamente mayor durante el impacto con el suelo al correr con calzado minimalista comparando con el calzado tradicional. Se encontró también que la zancada era más corta pero más frecuente. Se ha demostrado que en el 70% del VO_2 máx. el correr descalzo tiene mayor economía de carrera que el estilo tradicional calzado, tanto en cinta de correr como en superficie irregular VO_2 máx. 1,3% más bajo en el correr descalzo.

Al analizar el patrón de pisada concluyeron que la mayor diferencia entre correr descalzo o calzado se observa durante la fase inicial del contacto con el suelo. Mientras que en un corredor con calzado se da en el retropié o talón, en un corredor descalzo se da en la parte media del pie. Esto es como consecuencia de la longitud de zancada más corta y la cadencia de pisada más elevada que se da en el correr descalzo. Según este estudio, el corredor con zapatilla minimalista precisa menos consumo de oxígeno en comparación con los atletas que llevan zapatillas deportivas tradicionales, en las mismas condiciones en las que ritmo y distancia se mantuvieron constantes. Esta investigación ha

demostrado que la pisada de los corredores con calzado minimalista es similar a la pisada del grupo descalzo; los cambios en los parámetros de cinética y cinemática de las extremidades inferiores respecto a usar calzado estándar, minimalista o descalzos también fueron similares. Los datos cinemáticos sugieren que los corredores descalzos adoptan, durante la fase de apoyo un patrón de apoyo en antepié en lugar del tradicional patrón de apoyo de talón, que es el más frecuente cuando se corre con calzado convencional.

Kerrigan C, Franz JR, Keenan GS et al.⁴ afirman en su estudio que las fuerzas de torsión articular son menores cuando se corre descalzo. En el estudio mostraron que los corredores calzados tienen mayores fuerzas de flexión de la rodilla en varo, y fuerzas de rotación interna de la cadera, que les produce más estrés en las piernas y los pies, en comparación con los atletas que corren descalzos. En las conclusiones del estudio, afirman que las zapatillas modernas provocan en las rodillas fuerzas de tracción durante la carrera que generan mayores presiones en los lugares anatómicos que suelen ser más propensos a la osteoartritis.

Las fuerzas de rotación en las tres articulaciones estudiadas fueron significativamente mayores cuando se usaban las zapatillas que cuando se corría sólo con calcetines. Observaron que cuando se corría calzado había un aumento del 36% en la fuerza de rotación en flexión de la rodilla, y eso posiblemente elevaba la tensión sobre el tendón de la rótula. Esto, unido al incremento en un 38% de la fuerza de rotación interna de la rodilla, implica mayor compresión en el compartimento tibio-femoral, además del aumento de la rotación interna de la cadera.

En el estudio no se plantea que para correr sea mejor el ir descalzo que utilizar las zapatillas de deporte, sino que sería razonable replantearse el diseño de algunas zapatillas deportivas, teniendo en cuenta estas variables de la misma manera que se ha hecho con la amortiguación de la pisada. El calzado del corredor de medias distancias está pensado para disminuir la fuerza de los impactos en el talón y para controlar la pronación del pie. Sin embargo, no hay evidencia científica que apoye el que este tipo de diseño sea el mejor para la salud articular a largo plazo. De hecho, la incidencia de problemas en las

rodillas de corredores no ha cambiado de manera significativa con los avances de la forma y calidad de las zapatillas.

Morley JB, Decker LM, Dierks T et al.⁵ al estudiar los grados de pronación y fuerzas de estabilidad comparando el correr calzado y el descalzo, encontraron que correr descalzo favorece un mayor movimiento de los complejos articulares del pie. El correr calzado impide la pronación del pie, siendo esta un movimiento fundamental para la absorción del impacto al correr, presenta también un menor grado de eversión y mayor torque medio-lateral de mediopié. El objetivo del estudio es ver si existen diferencias en las fuerzas medio-laterales originadas por las fuerzas de fricción entre el suelo y el pie (ML- GRF). El correr descalzado favorece un mayor movimiento de los complejos articulares del pie, favoreciendo la pronación natural del pie. Esta pronación es un movimiento combinado necesario para la absorción del impacto al correr. El calzado que impide este movimiento va contra la mecánica natural del pie. En el estudio se observó menor grado de eversión y mayor torque medio-lateral de mediopié en grupo de correr descalzo.

Hanson NJ, Berg K, Meedering JR et al.⁶ compararon correr en suelo y en cinta y obtuvieron como resultado que correr descalzos es significativamente más económico que correr calzado. La frecuencia cardíaca es menor en el correr descalzo, así como el consumo de oxígeno, que es un 5,7% más bajo que corriendo con calzado deportivo. Se ha demostrado que en el 70% del VO₂máx. correr descalzo tiene mayor economía de carrera que correr calzado, tanto en cinta de correr como en superficie irregular.

Daoud AI, Geissler GJ, Wang F et al.⁷ encontraron en su estudio que el índice de lesiones en el grupo de corredores que entraban de talón era el doble del de los corredores que entraban de metatarso. La incidencia era significativamente mayor en frecuencia y gravedad de las lesiones asociadas, en el apoyo de talón, en contraposición al apoyo de la parte delantera/media del pie. Casi el 80% de los corredores que corren con zapatillas, toma contacto con el suelo con el talón, mientras que los corredores que corren descalzos lo hacen con el metatarso, por lo tanto, correr descalzo disminuye notablemente el riesgo de lesión.

En el estudio se justifica científicamente la influencia del patrón de pisada y de la superficie de contacto inicial, señalando la velocidad, la superficie, el calzado y la fatiga, como factores influyentes en el mismo. Se menciona la contradicción entre nuestra predisposición natural como característica de la evolución humana a correr descalzo con apoyo de metatarso y la actual realidad de que la mayoría de corredores inician el contacto con el suelo a través del talón.

Bonacci J, Vicenzino B, Spratford W, et al.⁸ en su estudio concluyeron que correr descalzo reduce el estrés de la articulación patelofemoral en un 12%. Correr descalzo disminuye la cantidad de trabajo en la rodilla y la aumenta en el tobillo. Sin embargo, correr calzado, aunque sea minimalista, no logra esa reducción que logra la biomecánica natural del pie. Correr descalzo presenta un menor ataque de talón, menor flexión de rodilla en la fase de apoyo y momentos articulares menores en la rodilla y superiores en el tobillo. La mejor propiocepción en la cara plantar del pie del correr descalzo, produce efectos neurofisiológicos que provocan importantes cambios en los comportamientos de moderación del impacto. En este estudio se muestran las diferencias en la carga patelofemoral y frontal de la rodilla entre un patrón de pisada con la zona anterior del pie y un patrón de pisada con la parte posterior del pie. El patrón de pisada anterior, propio del correr descalzo, presenta menor estrés rótulo-femoral inferior y, por lo tanto, se puede afirmar que puede reducir el riesgo de lesiones de rodilla relacionadas con el correr.

Giuliani J, Masini B, Alitz C et al.⁹ afirman en su estudio que las adaptaciones de marcha y entrenamiento son esenciales para combatir el riesgo de lesiones producido por el aumento de la tensión en diferentes localizaciones del pie, que se produce cuando los corredores se pasan al minimalismo. Los corredores acostumbrados a correr durante mucho tiempo con zapatillas tradicionales pueden desarrollar una débil estructura del pie y una sensibilidad reducida, una propiocepción deficiente y esto puede contribuir al riesgo de lesión cuando el corredor decida cambiar de calzado y empezar a usar zapatillas minimalistas. En este estudio se comprobó cómo este calzado estuvo relacionado recientemente como la causa de la lesión en dos corredores experimentados, diagnosticados de fracturas por estrés en 2º metatarsiano, después de

cambiarse al calzado minimalista entre 3 y 6 semanas antes de la lesión. Esto apoya la idea de que el simple cambio de las zapatillas, sin los oportunos cambios de volumen de entrenamiento y sin un cambio en la mecánica de la carrera, puede ser motivo de lesión. El cambio sin más de calzado puede contribuir a la lesión por los cambios en la transmisión de fuerza y la marcha que produce. Se presentan dos casos de fractura por estrés metatarsiano en corredores experimentados cuyo único cambio fue el de haber sustituido su calzado tradicional por el de un calzado minimalista. La presunta causa de lesión por esfuerzo en estos dos pacientes es precisamente ese cambio a un calzado minimalista, sin haber realizado también un cambio en el patrón de la marcha. Los corredores que usan estas zapatillas deben ser advertidos sobre la necesidad de cambiar ese patrón de marcha, hay que pasar de utilizar un patrón de talón a un patrón de pie medio en el impacto, cuando se corre en zapatillas minimalistas.

Altmann AR y Davis IS.¹⁰ establecieron que los patrones de pisada al impactar pueden ser con el retropié, con el mediopié y con el antepié. Esta clasificación puede hacerse por observación. Además el patrón de pisada puede clasificarse según el índice de pisada de 0 a 100, siendo el 0 patrón de pisada del retropié y 100 el del antepié, utilizándose una plataforma de medida de fuerza. Si esta medición de fuerza no fuera posible realizarla, en este estudio, se determina que medir el ángulo de impacto, es una medida válida para calcular el índice puesto que demostraron que entre los dos hay una relación directa. El ángulo de impacto se relaciona directamente con el índice de fuerza de impacto tanto en los corredores descalzos como en los que llevan calzado. Su medición, por lo tanto, será un método válido para determinar el patrón de pisada en los corredores. Se midieron ambos parámetros en corredores calzados con patrón de pisada de retropié, de mediopié y de antepié, y de corredores descalzos. En la condición de calzados, el ángulo estaba muy relacionado con el índice de impacto ($r=0,92$). En la condición de descalzos igualmente, la relación entre el ángulo y índice también fue muy alta ($0,86$). La conclusión que se obtuvo fue que el método de medición del ángulo de impacto es un método cinemático válido para la detección del patrón de pisada en el impacto en corredores calzados y descalzos.

Zhang X, Paquette MR y Zhang S.¹¹ afirman en su estudio que llevar chancas abiertas por delante, chancletas o ir descalzos tenía diferentes picos fuerza de impacto con el suelo. No es lo mismo llevar este tipo de calzado que ir descalzo. También mostraron que las zapatillas abiertas y las de correr originaban diferentes Centros de Presión (COP) y cambios en el movimiento de la rodilla y el tobillo.

Bonacci J, Saunders PU, Hiks A et al.¹² concluyeron en su estudio que correr con calzado minimalista no es lo mismo que correr descalzo, porque cambia la cantidad de trabajo realizado en la rodilla y el tobillo. Los corredores descalzos mostraron menor tensión en la rodilla de apoyo, un descenso del 11% en el pico de extensión de la rodilla y el momento de abducción y una disminución del 24% del trabajo negativo, en el tobillo, por el contrario, se demostró menos dorsiflexión en el contacto inicial, un aumento del 14% en el pico de energía generada y un 19% de incremento en el trabajo positivo. Llegaron a la conclusión de que el estrés que sufre la rodilla se reducía en un 12% mientras se corría descalzo en comparación que cuando se hacía calzado. Por lo tanto, correr descalzo reduce los dolores en la rodilla, sobre todo en la zona de la rótula.

Se comparó la biomecánica de carrera entre diferentes calzados y se encontró que correr descalzo se diferencia de todos los otros tipos de calzado en cuanto al ángulo pie-suelo, además de producir una disminución de la cantidad de trabajo en la rodilla y aumentarla en el tobillo. Los autores concluyeron que correr descalzo podría tener un uso terapéutico y un aumento de rendimiento para los corredores bien entrenados. Según los resultados, no importa el tipo de calzado que llevemos porque es imposible reproducir la biomecánica del pie descalzo. Si la comparamos con la que realizamos con los diferentes calzados, incluyendo los minimalistas, la biomecánica del pie descalzo presenta un menor ataque de talón, menor flexión de la rodilla en la fase de apoyo así como momentos articulares menores en la rodilla y superiores en el tobillo. Seguramente, el efecto neurofisiológico producido por las sensaciones percibidas en la piel de la cara plantar del pie induce los cambios más importantes en los comportamientos de moderación de impacto, que iba aumentando a medida que la interferencia del calzado disminuía. En el estudio

el ángulo medio del tobillo en el impacto contra el suelo fue disminuyendo cuando el ataque pasaba de talón hacia el pie descalzo.

Ryan M, Elashi M, Newsham-West R et al.¹³ afirman en su estudio que el pie va adaptándose a la superficie y la pisada se va modificando al cambiar el terreno, por ello, un calzado inadecuado puede no permitir dicha adaptación y provocar malas posiciones del pie en la pisada y consiguientemente dolor. Corriendo en calzado minimalista, a los tres meses de haber reemplazado las zapatillas tradicionales por la versión minimalista, los corredores registraron entre dos y tres veces más lesiones que aquellos que siguieron utilizando el calzado habitual. Algunos modelos de zapatillas minimalistas son sólo zapatillas sin los elementos que proporcionan estabilidad extra, mientras que otros son tan minimalistas que se convierten en un guante de goma de cuatro milímetros para el pie. Los ensayos biomecánicos demuestran que correr sin calzado, o casi descalzo, acorta el paso. Esto reduce la flexibilidad articular y, en teoría, disminuye las lesiones; pero, en este estudio hecho con más de 100 corredores, que por primera vez usaban zapatillas de correr minimalistas, quedó reflejado que se registraba una alta incidencia de lesiones.

Williams B, Green DH, Wurzinger B.¹⁴ estudiaron los niveles de absorción del impacto entre corredores que impactaban con el talón, corredores que lo hacían con el metatarso con zapatillas y corredores que lo hacían con el metatarso descalzos. El estudio obtuvo dos resultados. Primero, había un mayor nivel de absorción del impacto en la articulación del tobillo y menor en la rodilla en los corredores calzados que impactaban con el suelo con el metatarso. Segundo, había una reducción del impacto total de la pierna entre los corredores que corrían con impacto de metatarso, comparándolos con los corredores que entraban con el talón, pero no se apreciaban diferencias entre los que entraban con el metatarso en zapatillas o descalzos. Comprobaron que la reducción del impacto viene dada por el patrón de pisada.

Perl DP, Daoud AI, Lieberman DE et al.¹⁵ encontraron en su estudio un aumento en la producción de fuerza en la flexión plantar corriendo descalzo y una disminución de la tensión en el tendón de Aquiles y en la flexión de la rodilla. También llegaron a la conclusión de que correr minimalista resulta ligera

pero significativamente más económico que hacerlo con calzado tradicional debido a la liberación de las extremidades inferiores y a un mayor almacenamiento de energía elástica. Después de controlar el peso de las zapatillas, y el tipo de pisada llegaron a la conclusión de que correr en una zapatilla minimalista es de 2,4 a un 3,3% más económico que correr en zapatillas tradicionales.

Al analizar el patrón de pisada vieron que la mayor diferencia entre correr descalzo o calzado se da en la fase inicial del impacto. Mientras que en un corredor con calzado se da en el retropié o talón, en un corredor descalzo se da en la parte delantera y media del pie. También se observa en los practicantes de barefoot una disminución en el tiempo de contacto con el suelo, el tiempo en el aire y en la duración de la zancada, debido a su mayor cadencia de caderas respecto de los corredores con calzado.

Kulmala JP, Avela J, Pasanen K et al.¹⁶ en su estudio muestran las diferencias en la carga patelofemoral y frontal de la rodilla entre los diferentes patrones de pisada, de antepié y de retropié. Un patrón de pisada con el antepié presenta menor estrés rótulo-femoral y frontal de la rodilla que el patrón de pisada de retropié. Así, el patrón de pisada anterior puede reducir el riesgo de lesiones de rodilla relacionadas con el correr. Por otro lado, el aumento de la flexión plantar y de la carga del tendón de Aquiles puede aumentar el riesgo de lesiones en el tobillo y el pie.

Se necesitan estudios prospectivos para determinar si los diferentes perfiles de carga, debido a los patrones diferentes de pisada se asocian a lesiones relacionadas con el funcionamiento específico.

Utz-Meagher C, Nulty J, Holf L.¹⁷ utilizando la escala ANOVA, comprobaron que tras un entrenamiento el correr descalzo tenía unos cambios significativos en las siguientes variables cinemáticas: ángulo del pie, longitud de la zancada, tiempo de contacto y pico total de fuerza. Los ángulos del pie disminuyen al correr descalzo, también la longitud de la zancada, hay un pico de fuerza menor y un menor tiempo de contacto. Todos estos son ajustes que hace el cuerpo de manera natural para prepararse para recibir la fuerza del impacto y absorberlo repartiendo más el esfuerzo.

Franz JR, Wierzbinski CM, Kram R.¹⁸ en su estudio concluyeron que teniendo en cuenta el peso parece que correr descalzo exigiría un gasto metabólico más bajo que correr calzado. El aumento de peso en las zapatillas aumenta la absorción de oxígeno submáximo en aproximadamente un 1% por cada 100 gramos por zapato. Sin embargo, la diferencia no fue estadísticamente significativa entre correr descalzo y calzado y eso sugiere que otros factores además del peso del calzado, por ejemplo, el patrón de impacto del pie, pueden jugar un papel importante en la determinación del coste metabólico de los corredores descalzos o calzados. El objetivo era cuantificar los efectos metabólicos de la suma de peso a los pies y comparar el consumo de oxígeno y la energía metabólica durante el correr descalzo y calzado. Los resultados fueron un incremento en aproximadamente un 1% por cada 100 g. añadido por pie. Sin embargo, correr descalzo y correr calzado no difirieron significativamente en el consumo de oxígeno o energía metabólica.

Encontraron que en una población de corredores que predominantemente adoptaban el patrón de pisada de antepié, no hay ninguna diferencia en el consumo de oxígeno (VO_2) entre los que corren descalzos o en zapatillas ligeras. Los investigadores concluyeron que el entrenar en zapatillas ligeras debería proporcionar un ahorro metabólico en comparación con el entrenamiento descalzo. Sin embargo, también observaron que en los corredores que no utilizan zapatillas ligeras, el peso añadido a los pies aumentará la absorción de oxígeno. Por cada 100 g de peso añadidos a los pies, el VO_2 aumentó 0.92% en los corredores descalzos y 1,92% en los calzados.

Como conclusión tenemos que correr descalzo no ofrece ninguna ventaja metabólica con respecto a correr con zapatos ligeros y amortiguados.

Gruber AH, Umberger BR, Hamill J et al.¹⁹ concluyeron en lo que respecta a la economía de la carrera que no encontraron ninguna diferencia entre los dos grupos que tenían un patrón de pisada de antepié o de retropié en el consumo de oxígeno VO_2 o de carbohidratos cuando utilizaban su patrón habitual. El ataque de talón era más económico que el de antepié a velocidades lentas y medias en los corredores de retropié, pero no en los de antepié. A velocidades más elevadas, el consumo de oxígeno VO_2 era más alta con el ataque antepié

que con el talón, pero el consumo de carbohidratos era igual. Los resultados sugieren que el ataque antepié no es más económico que el ataque talón y que cada tipo de pisada busca su mayor economía de gasto de oxígeno y de energía.

Miller R., Umberger BR, Hamill J et al.²⁰ encontraron que la mecánica de la marcha y la actividad muscular se optimizan con el fin de minimizar el costo de transporte (COT) . Los resultados afirman que los seres humanos, cuando corren a diferentes velocidades, son capaces de seleccionar de forma natural una longitud de zancada que mantenga un COT bajo. Para comprobarlo, se generaron simulaciones por ordenador cualitativamente parecidas al correr humano para predecir el funcionamiento mediante un modelo músculo-esquelético anatómicamente inspirado y compararon los resultados con los datos obtenidos de los corredores. En todas las simulaciones se registró un costo de transporte mínimo.

DISCUSIÓN

Respecto a las ventajas que presenta correr descalzo sobre correr calzado destaca que determina *un patrón de pisada en antepié a la hora de aterrizar el pie sobre el suelo*, correr descalzo implica un patrón de pisada en antepié o metatarso, que sería el que produciría el movimiento natural del pie al impactar contra el suelo ^{1,3,4,5,7,8,10,12,14,15,16} . Este patrón de pisada origina diferencias de absorción de la fuerza de impacto al aterrizar el pie en el suelo ^{2,5,12,13,14,15,16,17} y diferentes adaptaciones al terreno ^{2,12,14,17} . Correr descalzo es biomecánicamente efectivo, correr con un patrón de pisada de metatarso reduce el impacto de manera natural ^{1,3,4,7,8,12,14,15,17,18} . Así mismo, la pronación, otro movimiento natural del pie al correr, ayuda a absorber el impacto ^{1,4,5} . Correr descalzo presenta también un *aumento de la propiocepción* ^{1,7,8} y consiguiente *reducción del riesgo de lesiones en las extremidades inferiores*, incluyendo: esguinces laterales de tobillo, fascitis plantar y síndrome de estrés tibial medial. ^{1,3,4,5,7,8,10,12,14,16}

Respecto al consumo de oxígeno: correr descalzo implica una disminución del consumo de oxígeno y correr más económico ^{1,3,6,15,18,19,20} . Es en este punto donde hay más discusión y menos acuerdo. Varios estudios han documentado

los efectos del esfuerzo y el consumo de oxígeno de los corredores descalzos frente a los tradicionales que usan zapatillas convencionales de atletismo. Lieberman DE, Venkadesan M, Werbel WA et al.¹ afirman en su estudio que, puesto que corriendo descalzo el cuerpo se inclina ligeramente hacia delante, el centro de gravedad estará más próximo al suelo, con lo que habrá una menor demanda de oxígeno al correr, por lo tanto, correr descalzo es metabólicamente más efectivo que correr calzado. Perl, Daoud Lieberman et al.¹⁵ encontraron que correr en zapatillas minimalistas es de 2,4 a 3,3% más económico que hacerlo en zapatillas tradicionales. Squadrone y Gallozzi³ y Hanson, Berg, Meedering et al.⁶ informaron que el corredor descalzo precisa menor consumo de oxígeno que el corredor con zapatilla minimalista y que este a su vez precisa menos consumo de oxígeno en comparación con los atletas que llevan zapatillas deportivas tradicionales, en las mismas condiciones de estudio constantes. Sin embargo Franz¹⁸ en su estudio encontró que en una población de corredores que predominantemente adoptan el patrón de antepié, no hay ninguna diferencia en el consumo de oxígeno (VO_2) entre los que corren descalzos o en zapatillas ligeras. Gruber AH, Umberger BR, Hamill J¹⁹, tampoco encontraron diferencias respecto al consumo de oxígeno entre corredores descalzos y calzados porque cada tipo de pisada busca su mayor economía de gasto de oxígeno y energía. En este punto, serán necesarios ensayos clínicos aleatorios y estudios prospectivos que confirmen si el correr descalzo reduce el consumo de oxígeno.

LIMITACIONES

La mayoría de los estudios han sido realizados con corredores profesionales o bien entrenados. En la comparación de los efectos entre correr descalzo y calzado con zapatillas con suela de absorción, si los corredores no hubieron sido profesionales, los resultados de los cambios biomecánicos habrían sido más significativos, dado que los corredores profesionales tienen desarrollada una buena biomecánica individual mediante horas de entrenamiento. Los próximos estudios deberían reproducir la metodología en corredores populares.

En los próximos años será necesario realizar más estudios clínicos aleatorios que aporten resultados más sólidos para comprobar científicamente las ventajas de correr descalzo con respecto a correr calzado.

CONCLUSIONES

El análisis de los estudios de esta revisión permite afirmar que hay un evidencia científica suficiente para afirmar que correr descalzo tiene ventajas sobre correr calzado. Una de las más importantes es que dejar que el pie realice su movimiento natural disminuye el riesgo de lesión. Correr descalzo mejora la somatosensación, es decir, mejora la propiocepción y mejora la percepción táctil. Al correr descalzo, evitamos el impacto en el talón y aterrizamos sobre el mediopié o antepié. Cuando el mediopié contacta con el suelo, comienza la pronación de todo el pie (no sólo en la articulación subastragalina) y continúa hasta el punto en el que talón contacta con el suelo. Con un apoyo de mediopié / antepié, la pronación es beneficiosa para absorber impacto. Los corredores descalzos habituales generan menores fuerzas de impacto que los corredores que usan calzado tradicional y aterrizan de talón. La cuestión no es correr descalzo sino correr según “un estilo descalzo”, por ello se puede correr en calzado minimalista porque este respeta la biomecánica de la pisada y se aproxima a la pisada natural del correr descalzo. Este concepto de correr descalzo no implica lo que llevas en los pies, sino cómo estás corriendo y permitir que el pie funcione de la manera según la cual ha sido diseñado para funcionar. Una vez que la técnica es perfeccionada y el corredor abandona el talonamiento, el siguiente paso es proteger la piel de tus pies sin comprometer el feedback propioceptivo que aporta el suelo. La práctica de la carrera estilo barefoot, descalzo, fortalece los músculos del pie, el desgaste muscular se reduce, la propiocepción aumenta, el impacto al aterrizar disminuye al igual que el riesgo de lesión. Sin embargo no existe el mismo nivel de evidencia para afirmar que disminuye el consumo de oxígeno y tendrán que ser estudios clínicos aleatorios y prospectivos posteriores los que lo confirmen.

AGRADECIMIENTOS

A José María González, director del presente Trabajo de Fin de Grado y a los expertos que me enviaron desinteresadamente la información solicitada vía e-mail, Dr. Daniel Lieberman, Dra. Allison Gruber, Dr. Jason Bonacci y Dr. Michael Ryan.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Lieberman DE, Venkadesan M, Werbel WA et al. Foot Strike Patterns and Collision Forces in Habitually Barefoot versus Shod Runners. *Nature* 2010; 463(7280): 531-5

<http://www.jfootankleres.com/content/5/S1/K1>

[doi:10.1038/Nature08723](https://doi.org/10.1038/Nature08723)

2. Hatala KG, Dingwall HI, Wunderlich RE, et al. Variation in Foot Strike Patterns During Among Habitually Barefoot Populations. *PLoS ONE*, january 2013, 8(1) e 52548.

[doi:10.1371/journal.pone.0052548](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0052548)

3. Squadrone R, Gallozzi C. Biomechanical and physiological comparison of barefoot and two shod conditions in experienced barefoot runners. *J Sports Med Phys Fitness*, 2009 Mar; 49 (1):6-13

<http://www.therunningclinic.ca/medias/maillinglist/2009-squadrone-barefoot-vs-fiv.pdf>

4. Kerrigan C, Franz JR, Keenan GS et al. The Effect of Running Shoes on Lower Extremity Joint Torques. *Phys Med Rehabil* 2009; Vol 1: 1058-63.

[doi:10.1016/j.pmrj.2009.09.011](https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2009.09.011)

5. Morley JB, Decker LM, Dierks T, Blanke D, French JA y Stergiou N. "Effects of Varying Amounts of Pronation on the Mediolateral Ground Reaction Forces During Barefoot Versus Shod Running. *Journal of Applied Biomechanics*. 2010; 2: 205-214

<http://www.unomaha.edu/crc/publications.php>

6. Hanson NJ, Berg K, Meederling JR, Ryan C. Oxygen Cost of Running Barefoot vs. Running Shod. *Int J Sports Med* 2011;32(6):401-406

[doi:10.1055/s-0030-1265203](https://doi.org/10.1055/s-0030-1265203)

7. Daoud AI, Geissler GJ, Wang F et al. Foot Strike and Injury Rates in Endurance Runners: a retrospective study. *Med Sci Sports Exerc.* 2012; 44(7): 1325-1334
<http://www.podiatry-arena.com/podiatry-forum/showthread.php?t=73248>
[DOI: 10.1249/MSS.0b013e3182465115](https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182465115)
8. Bonacci J, Vicenzino B, Spratford W, Collins P. Take your shoes off to reduce patellofemoral joint stress during running. *Br J Sports Med.* 2013 Jul 13.
[doi:10.1136/bjsports-2013-092160](https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092160)
9. Giuliani J, Masini B, Alitz C et al. Barefoot-Simulating Footwear Associated with metatarsal Stress Injury in 2 Runners. *Orthopedics*, July 2011; 34 (7):320-323
[doi:10.3928/01477447-20110526-25](https://doi.org/10.3928/01477447-20110526-25)
10. Altman AR, Davis IS. A kinematic Method for Foodtstrike Pattern Detection in Barefoot and Shod Runners. *Gait Posture.* 2012 February; 35(2):298-300.
[doi:10.1016/j.gaitpost.2011.09.104](https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2011.09.104)
- 11.-Zhang X, Paquette MR, Zhang S. A comparison of gait biomechanics of flip-flops, sandals, barefoot and shoes. *J Foot Ankle Res.* 2013 Nov 6;6(1):45
PMID: 24196492
[doi:10.1186/1757-1146-6-45](https://doi.org/10.1186/1757-1146-6-45)
12. Bonacci J, Saunders PU, Hiks A et al. Running in a minimalist and light shoe is not the same as running barefoot: a biomechanical study. *Br J Sports Med* 2013; 47: 387-92 [doi:10.1136/bjsports-2012-091837](https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091837)
13. Ryan M, Elashi M, Newsham-West R et al. Examining injury risk and pain perception in runners using minimalist footwear. *Br J Sports Med.* 2013
[doi:10.1136/bjsports-2012-092061](https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-092061)
14. Williams B, Green DH, Wurzinger B. Changes in Lower Extremity Movement and Power Absortion During Forefoot. *The International Journal of Sports Physical Therapy.* 2012; 7(5): 532
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/issues/140162/1>
[PMCID: PMC3474309](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/PMC3474309/)
15. Perl DP, Daoud AI, Lieberman DE. Effects of Footwear and Strike Type on Running Economy. *Med Sci Sports Exerc.* 2012; 44(7): 1335-43
[doi:10.1249/MSS.0b013e318247989e](https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318247989e)

16. Kulmala JP, Avela J, Pasanen K, Parkkari J. Forefoot Strikers Exhibit Lower Running-Induced Knee Loading than Rearfoot Strikers. *Medecine & Science in Sports & Exercise*. 2013 Dec; 45(12): 2306-13
[doi:10.1249/MSS.0b013e31829efcf7](https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31829efcf7)
17. Utz-Meaguer C, Nulty J, Holt L. Comparative Analysis of Barefoot and Shod Running. *Sport Science Review*. August 2011; 20(3-4): 113-130
[doi:10.2478/v10237-011-0057-0](https://doi.org/10.2478/v10237-011-0057-0)
<http://versita.metapress.com/content/14737w184781516x/fulltext.pdf>
18. Franz JR, Wierzbinski CM, Kram R. Metabolic Cost of Running Barefoot versus Shod. *Med Sci Sports Exerc*. August 2012; 44(8): 1519-25
[doi:10.1249/MSS.0b013e3182514a88](https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182514a88)
19. Gruber AH, Umberger BR, Braun, Hamill J. Economy and Rate of Carbohydrate Oxidation During Running with Rearfoot and Barefoot Strike Patterns. *J Appl Physiol*. 2013; 115: 194-201
[doi:10.1152/jappphysiol.01437.2012](https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01437.2012)
20. Miller RH, Umberger BR, Hamill J, Caldwell GE. Evaluation of the Minimum Energy Hypothesis and Other Potential Optimality Criteria for Human Running. *Proc Biol Sci*. 2012; 279(1733):1498-505
[doi:10.1098/rspb.2011.2015](https://doi.org/10.1098/rspb.2011.2015).
21. Bramble D, Lieberman Daniel E. Endurance running and the evolution of Homo. *Nature*. Nov.2004;432(7015):345–52.
<http://www.fas.harvard.edu/~skeleton/pdfs/2004e.pdf>